

オホーツク海における海水-海洋相互作用に関する研究

－カラフト東岸沖における潮流特性と日周潮陸棚波－

大気海洋圏環境科学専攻 極域大気海洋学講座 博士課程 2年

小野 純（指導教官：大島慶一郎）

1. 研究背景と目的

オホーツク海は、沿岸結氷を除けば、北半球における海水域の南限であり、地球温暖化の影響が最も顕著に現われる場所として近年特に注目されている。また、北太平洋域において唯一大気と接した水が中層(400–800 m)まで潜り込むことができる場所であり、北太平洋中層水の起源の一つとしてオホーツク海北西部陸棚域での海水生成に伴って生成される高密度陸棚水(DSW)が考えられている。一方、オホーツク海は潮汐・潮流が極めて強い海域であることが数値シミュレーション[Kowalik and Polyakov, 1998]によって示されているものの、実測に基づいた研究は十分に行なわれていない。本研究の目的は、まず観測データから潮流場特性を明らかにし、それを再現できる数値モデルを開発するとともに、潮汐・潮流が海水-海洋に与える影響を明らかにすることである。昨年度報告したKashevarov Bankでの解析結果は、現在Deep-Sea Research Part Iに投稿中である。今年度は、カラフト東岸沖に焦点をあてて解析を行なった。この海域は、北太平洋中層水の起源水の一つと考えられているDSWや海水の輸送経路となっていることから、DSWの変質や輸送に対して潮流が与える影響を評価することは重要である。しかしながら、長期間にわたって直接この海域における潮流を計測した例は少なく、潮流場については十分にわかっていない。日米露共同による戦略的基礎研究「オホーツク海水」では、カラフト東岸沖において、1998年から2年間にわたって長期係留観測を行った。本研究ではそこで得られた潮流特性と日周潮陸棚波の理論解との比較について報告する。

2. データ

観測はカラフト東岸沖の49.5°N, 53°N, および約55°Nの3つの等深線をほぼ垂直に横切る線(A, B, C)に沿って、陸棚から陸棚斜面にかけての9地点に係留系を設置して行われた(図1)。設置点の深度は約100~1700m、観測期間は1998年6月~1999年9月と1999年9月~2000年6月の2つの期間であった。測流にはADCP(RDI社製)と流速計(ユニオンエンジニアリング社製)を用いた。測器の設置深度は約200, 450, 800m、浅い地点では海底付近とした。

3. 結果

観測された流速場は、陸棚上のM1, M5, M8, M9で日周期のシグナルが卓越していた(図省略)。潮流特性を調べるために、各係留点における東西・南北の流速データを主要8分潮($K_1, P_1, Q_1, O_1, M_2, S_2, N_2, K_2$)で調和分解し、得られた振幅と遅角から潮流楕円を作成した。最も卓越していた成分は K_1 と O_1 の日周期成分であった。図2(a)は、観測で得られた K_1 の潮流楕円分布を示す。陸棚上のM1, M5, M8, M9では、ほぼ等深線に沿って伸長した細長い形をしており、時計回りの回転をしていた。また長軸の振幅は0.11–0.34 m s^{-1} に達した。一方、陸棚斜面やその沖では、潮流楕円は急激に小さくなっていた。また、このような結果は O_1 にも見られた。M9, M1, M5の K_1 と O_1 の潮流楕円のグリニッチ位相¹から、 K_1 と O_1 の位相速度を見積もると、M9–M1間では3.3と3.8 m s^{-1} 、M1–M5間では8.6と6.5 m s^{-1} で、岸を右に見る方向に伝播していることが示された。以上の特徴は、日周潮陸棚波が励起されていることを示すものである。

4. 日周潮陸棚波の理論解との比較

¹ K_1 や O_1 の仮想天体がグリニッチ子午線に南中してから各係留観測点で流速最大になるまでの時間

観測結果を診断するために、陸棚波の解析モデルを適用し、3つのライン A, B, C に沿う現実の海底地形 (図 3) と密度成層 (図 4) を与えて、日周潮陸棚波の分散関係と構造を調べた。図 5 は、各ラインにおける分散関係を示す。A と B ラインでは第一モードの日周潮陸棚波が励起されているが、C ラインでは日周潮陸棚波が存在し得ない地形となっており、これらの地点での潮流が何によるのかは、今後、考察を要する。一方、M7 と M3 を除くライン A および B に沿う K_1 の潮流楕円の回転方向および沖に向かって小さくなる様子はほぼ一致した (図 2(b))。図に示していないが、鉛直方向の構造もよい一致を示した。また、観測で見積もられた M9–M1 間での K_1 と O_1 の位相速度は、ライン B での解析モデルによる第 1 モードの日周潮陸棚波のそれら (3.65 および 3.93 m s^{-1}) に近かった。

次に、調和解析の期間を夏と冬に分けて潮流の季節変化を調べた。一方、解析モデルは中層フロートによって得られた冬の密度成層データ (図省略) を使用し、分散関係および構造を調べた。結果は B ラインについてのみ示す。分散関係がほとんど一致していることから、密度成層の違いによる影響はほとんどないことがわかる。表 1 に示した観測とモデルで見積もられた位相速度を比較すると、夏よりも冬の方がよく合っているが、モデルでは季節変化がほとんどないのに対し、観測では冬の位相速度が $0.1\text{--}0.3 \text{ m s}^{-1}$ 大きくなっていることがわかる。これは密度成層の違いによる影響というよりは、1月に南流が最大となる東カラフト海流の移流の影響を示唆している。

最後に、日周潮陸棚波の水位への寄与を見積もってみた。M1, M8, M9 の係留点で観測された水位の時系列 (図省略) を流速と同様に調和解析して振幅と位相を求めた。一方、解析モデルの水位は、M1 および M9 付近の流速が観測で得られた K_1 の潮流楕円の長軸に等しい大きさを持った場合に得られる水位を、第一モードの K_1 周期の日周潮陸棚波の海面での圧力から $\eta = p/\rho g$ として見積もった。図 4 は B ラインでの観測と解析モデルの水位を示す。水位の日周潮陸棚波の寄与は、 $\sim 1/4$ 程度であり、他の成分 (ケルビン波など) の影響が大きいことがわかる。岸から M1 への水位の振幅の減り方は陸棚波によく対応していた。そこで、観測で得られた K_1 や O_1 の水位のシグナルがすべてケルビン波によると仮定すると、岸に沿う方向の運動方程式から、 $v \approx \eta(g/H)^{1/2}$ となり、水位変動に伴うケルビン波の流速は 0.02 cm s^{-1} と見積もられる。この値は、観測で得られた潮流楕円の長軸に比べると、1 オーダー小さいので、流速場に関してはケルビン波の影響は小さいと示唆される。

5. まとめ

今年度はカラフト東岸沖における潮流場を解析し、理論解と比較した。M1, M8, M9 での陸棚域では、日周潮流が卓越しており、 K_1 と O_1 の潮流楕円は等深線に沿って伸長した形をして、時計回りに回転していた。これらの潮流楕円の長軸は $0.19\text{--}0.34 \text{ m s}^{-1}$ に達する。また、位相速度 $3.3\text{--}3.8 \text{ m s}^{-1}$ で岸を右手にみて伝播していることから日周潮陸棚波が励起されていることが示唆された。そこで、これらの観測結果を陸棚波の解析モデルと比較すると、潮流楕円の形、回転方向および位相速度は、第一モードの日周潮陸棚波のそれらと良い一致を示した。一方、日周潮陸棚波の水位への寄与は小さかった。このことから、流速は第一モードの日周潮陸棚波でおおよそ説明できるが、水位は $\sim 1/4$ の寄与であると示唆される。最後に、日周潮陸棚波の季節変化を調べると、密度成層の違いによる影響は小さく、1月に流速最大となる東カラフト海流の移流によって、冬季に位相速度が $0.1\text{--}0.3 \text{ m s}^{-1}$ 強まることが示唆された。

6. 今後の展望

来年度は、カラフト東岸沖南部 (52°N より南) での潮流場が何によって決まるのかを考察し、DSW に与える潮汐の影響を調べる一つの手がかりとして、潮汐周期での水温や塩分の変動を解析する。これらを今年度の成果と併せて論文にまとめて投稿する。その一方では、得られた観測結果を再現できる潮汐モデルを開発し、潮汐が海水-海洋場、特に DSW へ与えるインパクトを明らかにするために研究を進める予定である。

謝辞

観測に御協力頂いた Prof.Khromov 号の乗船者およびロシア極東水文気象研究所に感謝致します。陸棚波の解析モデルは Chapman 氏と Brink 氏より提供頂いた。

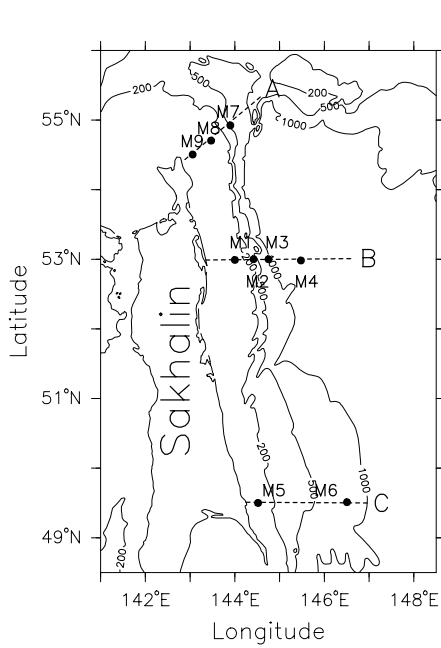


図 1. M1-M9 の係留観測点.

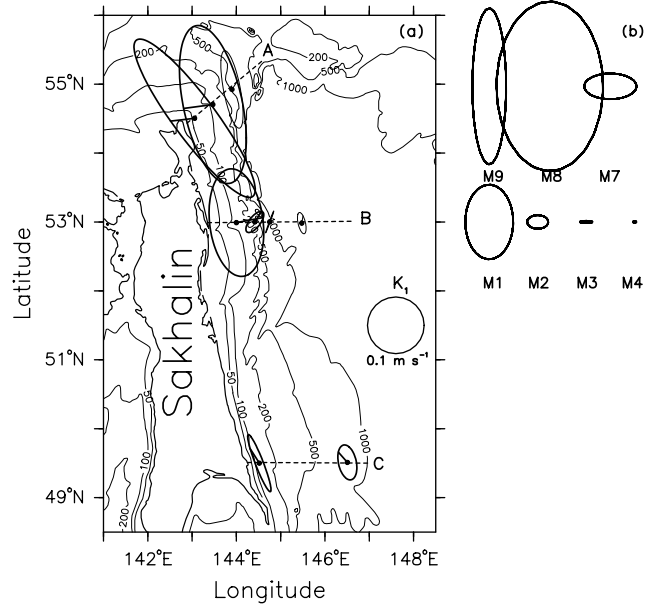


図 2. (a) 観測および (b) 解析モデル (A および B ライン) で得られた K_1 の潮流楕円分布. 回転方向は, 太線が時計回り, 細線が反時計回りを示す. 潮流楕円内の実線はグリニッチ位相を示す.

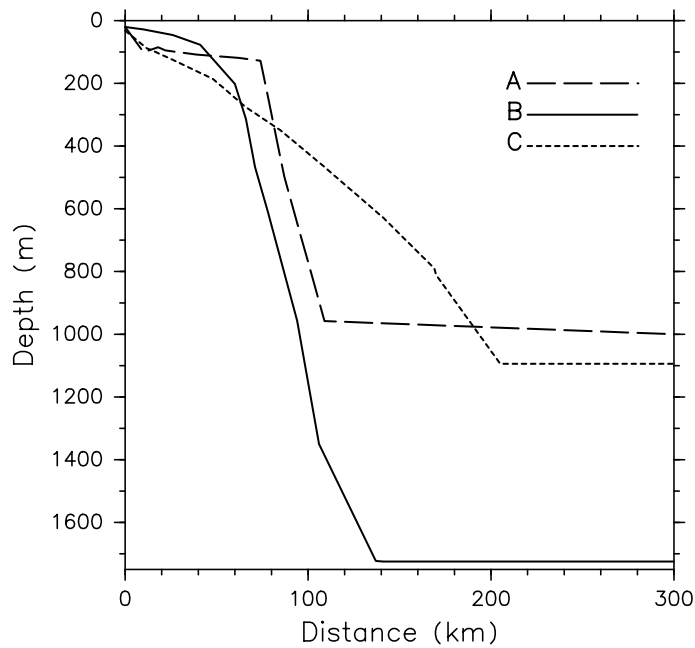


図 3. A (破線), B (実線), C (点線) ラインの現実の海底地形.

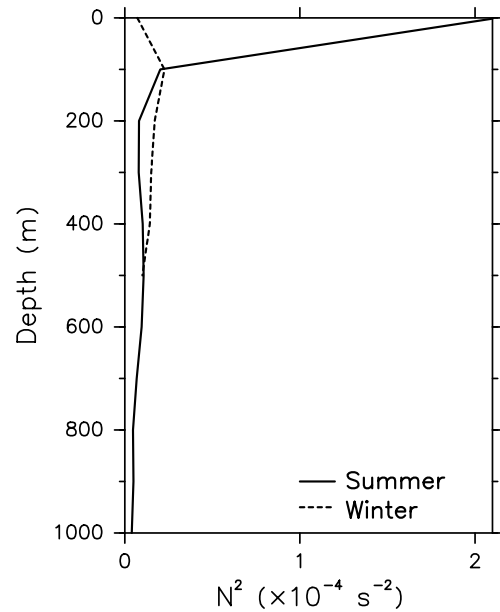


図 4. CTD 観測から得られた 7 月 (実線) と中層フロートから得られた 12 月 (破線) の密度成層分布.

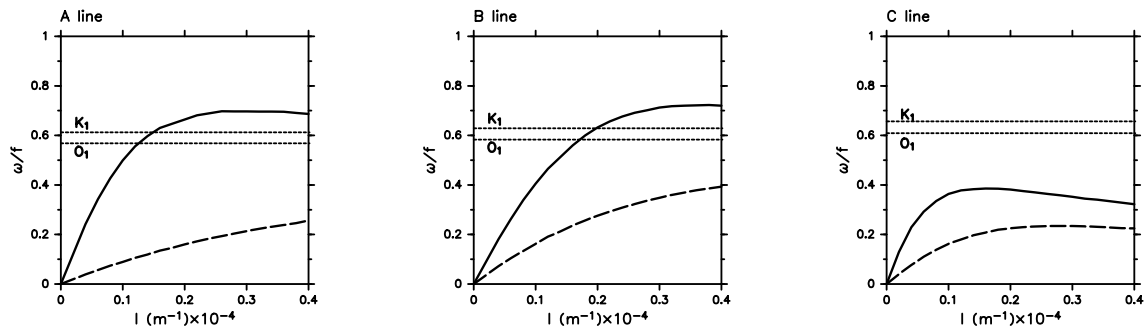


図 5. 現実の海底地形と密度成層分布に対して計算された第一モード（実線）と第二モード（破線）の陸棚波の分散関係。点線はコリオリパラメータで規格化された K_1 と O_1 の周波数を示す。

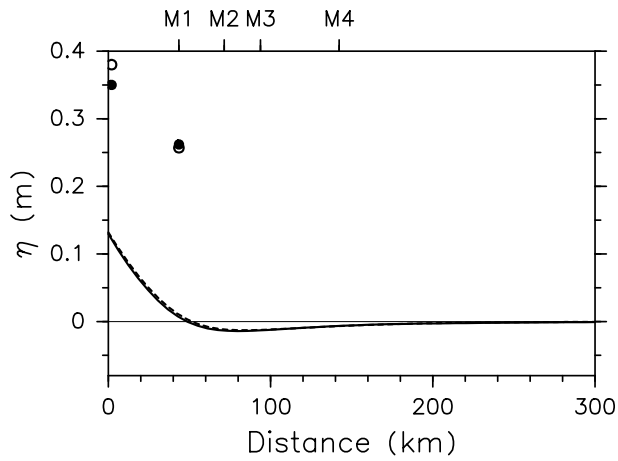


図 6. 観測（点）と解析モデル（線）で見積もられた K_1 （○と実線）および O_1 （●と破線）の水位。

表 1: 観測と解析モデルで見積もられた夏（細字）と冬（太字）の K_1 と O_1 の位相速度 (m s^{-1}) の比較。

	観測		解析モデル	
K_1	3.27	3.59	3.65	3.68
O_1	3.83	3.93	3.93	3.93

平成 16 年度の発表と論文

学会発表

小野純（北大院地球環境），大島慶一郎（北大低温研），深町康（北大低温研），水田元太（北大院地球環境），若土正暁（北大低温研）；「カラフト東岸沖における潮流特性と日周潮陸棚波」2005 年度 日本海洋学会春季大会，東京，2005 年 3 月 28 日

投稿論文

Ono, J., Ohshima, K.I., Mizuta, G., Fukamachi, Y., Wakatsuchi, M., (submitted): Amplification of diurnal tides over Kashevarov Bank in the Sea of Okhotsk and its impact on water mixing and sea ice, Deep-Sea Research I.